



(12) FASCICULE DE BREVET

- (11) N° de publication : **MA 35006 B1** (51) Cl. internationale : **F21K 23/10**
(43) Date de publication : **03.04.2014**

-
- (21) N° Dépôt : **35816**
(22) Date de Dépôt : **11.04.2013**
(30) Données de Priorité : **19.04.2012 EP 12164759.8**
(71) Demandeur(s) : **ALSTOM TECHNOLOGY LTD, BROWN BOVERT STRASSE 7 CH-5400 BADEN (CH)**
(72) Inventeur(s) : **SIMIANO Marco**
(74) Mandataire : **SABA & CO**

-
- (54) Titre : **SYSTEME D'ENERGIE SOLAIRE ET SON PROCEDE D'EXPLOITATION**
(57) Abrégé : L'invention concerne un système d'énergie solaire, comprenant un récepteur solaire (1) qui absorbe le rayonnement solaire, au moins une première et une seconde trajectoires d'écoulement de fluide (L1, L2) passant à travers le récepteur, un premier fluide de travail pouvant s'acheminer à travers la première trajectoire d'écoulement de fluide (L1) pour absorber l'énergie thermique du récepteur (1) à une première température maximale et un second fluide de travail pouvant s'acheminer à travers la seconde trajectoire d'écoulement de fluide (L2) pour absorber l'énergie thermique du récepteur (1) à une seconde température maximale.FIGURE 1


ABREGE

L'invention concerne un système d'énergie solaire, comprenant un récepteur solaire (1) qui absorbe le rayonnement solaire, au moins une première et une
5 seconde trajectoires d'écoulement de fluide (L1, L2) passant à travers le récepteur, un premier fluide de travail pouvant s'acheminer à travers la première trajectoire d'écoulement de fluide (L1) pour absorber l'énergie thermique du récepteur (1) à une première température maximale et un second fluide de travail
10 pouvant s'acheminer à travers la seconde trajectoire d'écoulement de fluide (L2) pour absorber l'énergie thermique du récepteur (1) à une seconde température maximale.

[FIGURE 1]

(QUINZE PAGES)

ALSTOM Technology Ltd.
P. P. SABA & CO., Casablanca



1 35006 01 AVR 2014

SYSTEME D'ENERGIE SOLAIRE ET SON PROCEDE D'EXPLOITATION

Domaine technique

La présente invention se rapporte aux systèmes d'énergie solaire et aux procédés de leur exploitation. En particulier, la présente invention se rapporte aux systèmes d'énergie solaire qui utilisent un fluide de travail pour transférer l'énergie thermique d'un récepteur solaire à un échangeur de chaleur.

Contexte technique

Dans un procédé connu de production de l'énergie solaire concentrée (CSP), le rayonnement du soleil est concentré, à l'aide de miroirs paraboliques ou d'héliostats, sur un ou plusieurs récepteurs du rayonnement solaire qui sont montés, par exemple en haut d'une tour, un soi-disant arrangement de "tour solaire". Le récepteur solaire ou chaque récepteur solaire absorbe le rayonnement solaire comme énergie thermique et un fluide de travail à capacité thermique élevée, tel un sel fondu, est utilisé pour transférer la chaleur du récepteur solaire à un échangeur de chaleur afin de produire un fluide de travail additionnel convenant pour actionner un générateur de force motrice. Le générateur de force motrice est habituellement une turbine à vapeur fonctionnant en cycle de Rankine, toutefois d'autres fluides de turbine, outre la vapeur, peuvent également être utilisés. La turbine ou un autre générateur de force motrice entraîne normalement un générateur électrique pour alimenter un réseau de distribution public en énergie.

Pour transférer la chaleur du récepteur solaire à l'échangeur de chaleur, le fluide de travail passe à travers des canalisations qui sont en communication thermique étroite avec les éléments d'absorption du rayonnement du récepteur ou de chaque récepteur, et le fluide est ensuite circulé à travers l'échangeur de chaleur à travers des conduites fortement isolées pour éviter une perte excessive de chaleur du fluide.

L'efficacité de la conversion du rayonnement solaire en énergie exploitable revêt une importance capitale. Une grande efficacité est nécessaire pour permettre à la CSP de faire concurrence, en termes de coûts par unité d'énergie, à d'autres formes de production de l'énergie, telles les centrales électriques à combustibles fossiles. Un aspect des systèmes CSP susmentionnés ayant un effet prononcé sur l'efficacité globale du système concerne la température et la pression auxquelles le fluide de turbine est élevé dans l'échangeur de chaleur avant de passer dans la turbine. Sur le plan thermodynamique, il est souhaitable de chauffer le fluide à une température et pression aussi élevées que possible, afin de maximiser la différence de température et de pression à travers la turbine. Toutefois, la température et la pression réalisables pour le fluide de turbine sont limitées par les caractéristiques du fluide de travail utilisé pour transférer l'énergie thermique du récepteur solaire à l'échangeur de chaleur. Un exemple d'un fluide de travail typique pour les systèmes CSP est un sel fondu : une combinaison de 60% de nitrate de sodium et de 40% de nitrate de potassium. Cette combinaison de nitrate de sodium et de nitrate de potassium affiche une température maximale de travail d'environ 565°C, laquelle température ne suffit pas pour produire une vapeur supercritique dans l'échangeur de chaleur à utiliser comme fluide de turbine. Les

limites de température autorisées des mélanges de sel fondu sont dues à la cristallisation au seuil de température le plus bas et à la décomposition des sels au seuil de température le plus haut. Bien que les sels aient des températures de décomposition qui permettent à la température dans l'échangeur de chaleur de s'élever au-delà de 565°C, les sels ayant des températures de décomposition supérieures ont aussi des températures de cristallisation accrues. Une élévation de la température de cristallisation occasionne une plage de températures croissantes auxquelles le système CSP ne fonctionnera plus car le fluide de travail ne s'écoulera plus autour du système et, par conséquent, est incapable de transférer l'énergie du récepteur solaire à l'échangeur de chaleur.

Par conséquent, nous avons besoin d'un moyen de transférer l'énergie d'un récepteur solaire à un échangeur de chaleur, sur une plus grande plage de températures que celle pouvant être obtenue actuellement avec les configurations connues de systèmes CSP.

15 **Résumé de l'invention**

Un premier aspect de la présente invention concerne un système d'énergie solaire comprenant un récepteur solaire pour absorber le rayonnement solaire et une multitude de trajectoires d'écoulement de fluide indépendantes passant à travers le récepteur solaire parallèlement les unes aux autres, où chaque trajectoire d'écoulement de fluide contient un fluide de travail pouvant s'écouler à une température de fonctionnement minimale au moins à travers la trajectoire d'écoulement de fluide pour absorber l'énergie thermique du récepteur solaire à une température de fonctionnement maximale, les températures de fonctionnement minimales et maximales étant différentes pour chaque fluide de travail, la configuration étant telle que l'énergie thermique absorbée dans le récepteur solaire par un fluide de travail ayant des températures de fonctionnement minimales et maximales relativement inférieures est transférée à un fluide de travail ayant des températures de fonctionnement minimales et maximales relativement supérieures dans une trajectoire d'écoulement de fluide adjacente, un tel transfert de l'énergie thermique survenant avant que le fluide de travail aux températures de fonctionnement minimales et maximales relativement supérieures n'absorbe l'énergie thermique du récepteur solaire.

Par exemple, dans un mode de réalisation préféré, les première et seconde trajectoires d'écoulement de fluide passent à travers le récepteur solaire, un premier fluide de travail pouvant s'écouler à travers la première trajectoire d'écoulement de fluide pour absorber l'énergie thermique du récepteur solaire à une première température maximale ; et un second fluide de travail pouvant s'écouler à travers la seconde trajectoire d'écoulement de fluide pour absorber l'énergie thermique du récepteur solaire à une seconde température maximale supérieure à la première température maximale.

A titre d'exemple additionnel, le système d'énergie solaire peut comporter aussi au moins une troisième trajectoire d'écoulement de fluide passant à travers le récepteur solaire et un troisième fluide de travail pouvant passer à travers la troisième trajectoire d'écoulement de fluide pour absorber l'énergie thermique du récepteur à une troisième température maximale supérieure aux première et seconde températures maximales.

De préférence, chaque trajectoire de fluide comprend un réservoir de stockage avant le récepteur solaire et un réservoir de stockage après le récepteur solaire, où chaque fluide de travail est stocké dans un réservoir avant et après le chauffage dans le récepteur solaire.

- 5 Différents fluides de travail peuvent avantageusement occuper les premier et second compartiments de l'un des réservoirs de stockage au moins, le premier compartiment étant situé dans une trajectoire d'écoulement de fluide pour stocker le fluide de travail aux températures de fonctionnement minimales et maximales relativement inférieures après avoir été chauffé dans le récepteur solaire et le
10 second compartiment étant situé dans une trajectoire d'écoulement de fluide pour stocker le fluide de travail aux températures de fonctionnement minimales et maximales relativement supérieures avant d'être chauffé dans le récepteur solaire, les premier et second compartiments du réservoir de stockage étant placés de telle sorte que, durant le fonctionnement du système, le fluide de travail à la
15 température de fonctionnement minimale supérieure, soit maintenu dans un état d'aptitude à l'écoulement par l'énergie thermique en provenance du fluide de travail à la température de fonctionnement minimale inférieure.

Afin d'extraire l'énergie exploitable du système, chaque trajectoire d'écoulement de fluide peut comporter un échangeur de chaleur à travers lequel, en cours de
20 fonctionnement, le fluide de travail chauffé dans cette trajectoire d'écoulement passe pour alimenter un fluide de turbine en énergie thermique, les échangeurs de chaleur étant placés en série par rapport à l'écoulement du fluide de turbine de telle sorte qu'un échangeur de chaleur ultérieur de la série alimente le fluide de travail en énergie thermique additionnelle après son passage à travers un
25 échangeur de chaleur précédent. Comme le fluide de turbine est un courant d'eau, ceci permet à la vapeur d'atteindre un état supercritique pour une efficacité améliorée de la production d'énergie. Une telle production d'énergie peut être réalisée en passant le fluide chauffé à travers une turbine fonctionnant en cycle de Rankine, la turbine étant configurée pour entraîner un générateur électrique.

- 30 Afin de contrôler la température maximale atteinte par chaque fluide de travail moyennant l'absorption de l'énergie thermique du récepteur solaire, le système peut comporter des pompes actionnables pour pomper les fluides de travail autour des trajectoires d'écoulement de fluide à différents débits.

Un second aspect de la présente invention concerne un procédé d'exploitation
35 d'un système d'énergie solaire, où l'énergie thermique est transférée d'un récepteur solaire à une multitude de différents fluides de travail, les fluides de travail pouvant s'écouler à travers une multitude de trajectoires d'écoulement de fluide correspondantes et ayant des températures de fonctionnement minimales et maximales différentes les unes des autres, le procédé comprenant les étapes qui
40 consistent à:

- a) acheminer les fluides de travail à leurs températures de fonctionnement minimales au moins à travers leurs trajectoires d'écoulement de fluide respectives pour absorber l'énergie thermique du récepteur solaire à leurs températures de fonctionnement maximales ; et
45 b) transférer l'énergie thermique absorbée dans le récepteur solaire par un fluide de travail ayant des températures de fonctionnement minimales et



maximales relativement inférieures à un fluide de travail ayant des températures de fonctionnement minimales et maximales relativement supérieures dans une trajectoire d'écoulement de fluide adjacente, un tel transfert de l'énergie thermique survenant avant que le fluide de travail aux températures de fonctionnement minimales et maximales relativement supérieures n'absorbe l'énergie thermique du récepteur solaire.

D'autres aspects de la présente invention seront apparents à partir de la lecture de la description suivante et des revendications annexées.

Brève description des figures

Des modes de réalisation exemplaires seront maintenant décrits en référence aux figures annexées, où :

La FIGURE 1 est une vue schématique d'un système de production de l'énergie solaire selon un aspect du présent concept ; et

La FIGURE 2 est un diagramme traçant l'enthalpie contre la température de la vapeur de 200°C à 700°C, pour une plage de pressions.

Description détaillée de modes de réalisation exemplaires

Des descriptions détaillées de modes de réalisation spécifiques d'un système de production de l'énergie solaire sont faites dans la présente. Il faudrait savoir que les modes de réalisation dans ce mémoire descriptif sont uniquement des exemples de la façon d'implémenter le présent concept et ne représentent pas un compte rendu exhaustif de toutes les façons d'implémenter le concept. En effet, il faudrait savoir que le système de production de l'énergie solaire décrit dans la présente peut être implémenté sous des formes diverses et alternatives. Les figures ne sont pas faites à l'échelle, et les composants, les matériaux ou les procédés bien connus ne sont pas décrits de façon exhaustive afin de ne pas compliquer le présent concept avec des détails inutiles. Les détails structurels et fonctionnels spécifiques révélés dans la présente ne doivent pas être considérés restrictifs, mais simplement comme une base pour les revendications et comme une base représentative pour apprendre aux personnes du métier les diverses façons d'implémenter le mémoire descriptif.

La présente invention se rapporte à l'emploi de deux fluides de travail différents ou plus dans un système de production de CSP permettant d'obtenir une plage de températures de fonctionnement plus importante que celle fournie par l'un des fluides individuellement. Le système révélé assure la production d'une température suffisante dans l'échangeur de chaleur pour créer une vapeur supercritique qui sera utilisée dans une turbine à vapeur, réalisant ainsi une efficacité améliorée dans la production de l'énergie.

De façon plus précise, les personnes du métier se rendront compte que, comme la pression augmente, la température d'ébullition de l'eau s'élève et sa chaleur latente d'évaporation diminue. Si la pression et la température sont suffisamment accrues, la chaleur latente d'évaporation devient zéro, c'est-à-dire que l'eau passe directement à l'état de vapeur sans ébullition, celles-ci étant la pression et la température critiques. Ceci a lieu à 374°C et 220.6 bars. De façon traditionnelle, les centrales à vapeur fonctionnent à des pressions de vapeur de l'ordre de 170 bars, lorsque la vapeur est dans un état sous-critique. Cependant, des rendements thermiques supérieurs peuvent être obtenus si les centrales

fonctionnent à des pressions supérieures à la pression critique. De telles centrales sont connues par centrales supercritiques.

Dans le système CSP de la figure 1, des miroirs adéquatement configurés 2, à utiliser principalement mais pas exclusivement dans une centrale supercritique, 5 sont calibrés et agencés pour concentrer le rayonnement solaire sur un récepteur solaire 1 monté au sommet d'une tour solaire 3. Le récepteur solaire 1 comprend des éléments de capture du rayonnement solaire qui absorbent le rayonnement solaire incident. Le fluide de travail CSP s'achemine à travers des passages dans le récepteur solaire, absorbant de ce fait l'énergie thermique des éléments de 10 capture du rayonnement solaire et la transférant à d'autres composants du système.

Dans la figure 1, il y a trois trajectoires d'écoulement de fluide ou boucles L1, L2 et L3 formant des circuits fermés, contenant les premier, second et troisième fluides de travail CSP, respectivement.

15 Dans la première trajectoire d'écoulement L1, un premier réservoir 9 contient le premier fluide de travail et une conduite 10 couple le réservoir 9 au récepteur solaire 1 ; une conduite 11 couple le récepteur solaire 1 à un premier compartiment 20a dans un second réservoir 4 ; une conduite 5 couple le premier 20 compartiment 20a dans le second réservoir 4 à un premier échangeur de chaleur 6 ; et une conduite 27 couple le premier échangeur de chaleur 6 au premier 20 réservoir 9, complétant ainsi le circuit fermé de la première trajectoire d'écoulement L1.

Dans la seconde trajectoire d'écoulement L2, un second compartiment 20b du 25 second réservoir 4 contient le second fluide de travail et une conduite 12 couple le second compartiment 20b du second réservoir 4 au récepteur solaire 1 ; une conduite 13 couple le récepteur solaire 1 à un premier compartiment 25a dans un troisième réservoir 16 ; une conduite 17 couple le premier compartiment 25a dans le troisième réservoir 16 à un second échangeur de chaleur 18 ; et une conduite 19 couple le second échangeur de chaleur 18 au second compartiment 20b du 30 second réservoir 4, complétant ainsi le circuit fermé de la seconde trajectoire d'écoulement L2.

Dans la troisième trajectoire d'écoulement L3, un second compartiment 25b du 35 troisième réservoir 16 contient le troisième fluide de travail et une conduite 14 couple le second compartiment 25b du troisième réservoir 16 au récepteur solaire 1 ; une conduite 15 couple le récepteur solaire 1 à un quatrième réservoir 21 ; une conduite 22 couple le quatrième réservoir 22 à un troisième échangeur de chaleur 23 ; et une conduite 24 couple le troisième échangeur de chaleur 23 au second 40 compartiment 25b du troisième réservoir 16, complétant ainsi le circuit fermé de la troisième trajectoire d'écoulement L3.

40 Dans un examen plus détaillé des trajectoires d'écoulement du fluide de travail CSP, une conduite 10 dans la trajectoire d'écoulement de fluide L1 relie le récepteur solaire 1 au premier réservoir 9 contenant le premier fluide de travail CSP, par exemple une combinaison de 60% de nitrate de sodium et de 40% de nitrate de potassium, qui est maintenu à une température relativement basse 45 (mais au-dessus de sa température de cristallisation), prêt pour être pompé par une pompe P au récepteur solaire 1. Une température de maintien adéquate pour



le sel fondu dans le réservoir 9 est par exemple 290°C. Lorsque le premier fluide de travail CSP passe à travers le récepteur 1, il absorbe l'énergie thermique à travers un premier ensemble de passages en communication thermique avec les éléments de capture du rayonnement et est chauffé à une température de 565°C

5 par exemple avant d'être pompé loin du récepteur 1 à travers la conduite 11 au compartiment primaire 20a du second réservoir 4, où il est stocké à cette température. Une conduite 5 transporte le premier fluide de travail CSP à partir du compartiment primaire 20a du second réservoir vers le premier échangeur de chaleur 6, où il libère une grande proportion de son énergie thermique dans le

10 fluide de travail de turbine d'un circuit de fluide de turbine 8. Le fluide de travail de turbine entrant dans l'échangeur de chaleur 6 peut être de l'eau ou une vapeur basse pression, dont la température et la pression sont alors élevées. La conduite 27 dirige le premier fluide de travail du premier échangeur de chaleur 6 au premier réservoir 9 à une température adéquate, telle 290°C, à laquelle il est stocké

15 jusqu'au moment d'être pompé au récepteur 1.

La conduite 12 relie le récepteur 1 au compartiment secondaire 20b du second réservoir 4. Ce compartiment secondaire 20b est isolé du compartiment primaire 20a et stocke le second fluide de travail CSP. Des exemples de matières adéquates à utiliser pour ce second fluide de travail sont l'une des matières

20 suivantes : des mélanges de fluorure de lithium/fluorure de béryllium (LiF-BeF_2), des mélanges de tétrafluoroborate de sodium/fluorure de sodium ($\text{NaBF}_4\text{-NaF}$) et des mélanges de fluorure de sodium/fluorure de zirconium (NaF-ZrF_4), qui possèdent chacun des seuils de température (c'est-à-dire, de décomposition et de cristallisation) supérieurs et inférieurs plus élevés par comparaison au premier

25 fluide de travail. De préférence, le second réservoir 4 est isothermique, de telle sorte que les compartiments primaire et secondaire 20a et 20b ont des températures semblables ou identiques, évitant ainsi le besoin de les isoler thermiquement l'un de l'autre. De là, le volume du second fluide de travail stocké dans le compartiment secondaire 20b est maintenu essentiellement à la

30 température du premier fluide de travail stocké dans le compartiment primaire 20a, le second fluide de travail dans le compartiment 20b étant maintenu ainsi à une température en dessus de son point de cristallisation. Par conséquent, le second fluide de travail est maintenu dans un état exploitable pour être pompé par une pompe P du compartiment secondaire 20b du second réservoir 4 au récepteur 1,

35 où il absorbe l'énergie thermique pour élever sa température à 700°C par exemple. Après son passage à travers un second ensemble de passages en communication thermique avec les éléments de capture du rayonnement du récepteur solaire 1 (le second ensemble de passages étant distinct du premier ensemble à travers lequel passe le premier fluide de travail), le second fluide de

40 travail est pompé à travers la conduite 13 au compartiment primaire 25a du troisième réservoir 16, dans lequel il est stocké à la température à laquelle il a été chauffé dans le récepteur 1. Le compartiment primaire 25a du troisième réservoir 16 communique avec un second échangeur de chaleur 18, auquel le second fluide de travail est pompé via une conduite 17. Dans le second échangeur de chaleur

45 18, l'énergie thermique est transférée du second fluide de travail au fluide de turbine qui est déjà passé à travers le premier échangeur de chaleur 6, élevant ainsi davantage la température du fluide de turbine à la température du second fluide de travail. Le second fluide de travail est ensuite retourné au compartiment



secondaire 20b du second réservoir 4 à travers la conduite 19, prêt pour être recirculé à travers le récepteur solaire 1.

Par comparaison à la technique antérieure, il est avantageux d'avoir un système ayant deux fluides de travail CSP différents, où le premier fluide de travail passe à travers une première trajectoire d'écoulement de fluide pour absorber l'énergie thermique du récepteur 1 à une première température maximale et un second fluide de travail passe à travers une seconde trajectoire d'écoulement de fluide pour absorber l'énergie thermique du récepteur à une seconde température maximale qui est sensiblement supérieure à la température maximale atteinte par le premier fluide de travail. De cette façon, une énergie thermique suffisante peut être transférée au fluide de turbine dans le circuit 8 via les échangeurs de chaleur 6 et 18 pour élever le fluide de turbine (habituellement la vapeur) à un état supercritique. Néanmoins, nous pensons qu'il serait bon de renforcer davantage la capacité du système à supporter une température élevée en introduisant au moins un fluide de travail CSP additionnel dont la température peut être élevée à un degré supérieur au second fluide de travail CSP.

En nous référant de nouveau à la figure 1, on constatera qu'une conduite 14 relie le récepteur 1 au compartiment secondaire 25b du troisième réservoir 16. Ce compartiment secondaire 25b est physiquement (mais préférablement pas thermiquement) isolé du compartiment primaire 25a du troisième réservoir 16 et stocke un troisième fluide de travail CSP ayant des seuils de température supérieur et inférieur plus élevés par comparaison au second fluide de travail. Les exemples de matières convenant pour ce troisième fluide de travail sont les métaux liquides, comme le sodium ou un alliage sodium potassium, ou un sel qui est différent des sels choisis pour les premier et second fluides de travail. De là, le troisième fluide de travail stocké dans le compartiment secondaire 25b du troisième réservoir est maintenu sensiblement à la température du second fluide de travail stocké dans le compartiment primaire 25a, ceci signifie que le troisième fluide de travail est maintenu à une température en dessus de son point de cristallisation, le maintenant ainsi dans un état exploitable pour être pompé par une pompe P au récepteur 1. Le troisième fluide de travail est par conséquent pompé du compartiment secondaire 25b du troisième réservoir 16 au récepteur 1 et absorbe l'énergie thermique pour élever sa température à 750°C par exemple. Après son passage à travers un troisième ensemble de passages dans les éléments de capture du rayonnement du récepteur 1 (le troisième ensemble de passages étant distinct des premier et second ensembles de passages à travers lesquels passent les premier et second fluides de travail respectivement), le troisième fluide de travail est pompé à travers une conduite 15 vers un quatrième réservoir 21, dans lequel il est stocké à la température à laquelle il a été chauffé dans le récepteur 1. Le quatrième réservoir 21 communique avec un troisième échangeur de chaleur 23, auquel le troisième fluide de travail est pompé via une conduite 22. Dans le troisième échangeur de chaleur 23, le troisième fluide de travail transfère l'énergie thermique au fluide de turbine qui est déjà passé à travers les premier et second échangeurs de chaleur 6, 18 élevant ainsi davantage la température du fluide de turbine. Le troisième fluide de travail CSP est ensuite retourné à travers une conduite 24 au compartiment secondaire 25b du troisième réservoir 16.



Le fluide de turbine, qui s'est acheminé à travers les circuits des premier, second et troisième échangeurs de chaleur 6, 18 et 23 dans l'ordre, est préférablement dans un état supercritique, et est dirigé du troisième échangeur de chaleur 23 vers l'entrée d'une turbine 26, pour entraîner un générateur.

- 5 Les réservoirs en soi doivent être fortement isolés de leur environnement pour empêcher les pertes d'énergie thermique dans l'environnement ambiant qui pourraient porter atteinte à l'efficacité globale du système. Les matières formant chaque compartiment des réservoirs doivent être au moins capables de supporter les températures et les réactivités des fluides de travail respectifs après leur
- 10 chauffage dans le récepteur 1.

Une façon de contrôler la température maximale des fluides de travail individuels, en passant à partir de leurs réservoirs respectifs, à travers leurs passages respectifs dans le récepteur 1 et autour des trajectoires de circulation du fluide L1, L2, L3 de retour à leurs réservoirs respectifs, consiste à contrôler leurs débits.

- 15 Ceci est possible car les trois différentes trajectoires de circulation du fluide de travail sont indépendantes l'une de l'autre et ont de ce fait des pompes et des débits séparés. De là, le premier fluide de travail peut être pompé autour du récepteur 1 à un débit qui lui permet d'absorber l'énergie thermique au niveau de son seuil de température supérieur, mais pas au-delà de ce seuil. Le second fluide
- 20 de travail peut être pompé autour du récepteur à un second débit inférieur, permettant ainsi d'atteindre une température supérieure. Le troisième fluide de travail peut alors être pompé à un débit plus lent toujours autour du récepteur 1, de façon à élever sa température à des degrés supérieurs au second fluide de travail.

- 25 Pour le démarrage du système, on prévoit que le premier fluide de travail CSP dans le réservoir 9 puisse au besoin être chauffé à une température de travail par une source de chaleur externe. Puis le premier fluide de travail peut être circulé autour de la trajectoire de fluide L1 jusqu'à ce que le second réservoir 4 soit suffisamment chauffé pour élever la température du second fluide de travail,
- 30 stocké dans le compartiment secondaire 20b du réservoir, à un degré suffisant pour permettre son écoulement. De même, le second fluide de travail chauffera le troisième fluide de travail stocké dans le compartiment secondaire 25b du troisième réservoir 16, et dès que celui-ci est suffisamment chauffé pour permettre son écoulement, le troisième fluide de travail peut aussi être utilisé. Nous
- 35 proposons ainsi une méthodologie opérationnelle où plusieurs fluides de travail sont chacun utilisés uniquement dans leurs plages de température nominale. Ceci produit un système qui est adaptable au degré d'insolation connu, par exemple les second et troisième fluides de travail doivent uniquement être utilisés lorsque les conditions météorologiques le permettent. D'où, sous une lumière solaire affaiblie,
- 40 uniquement le premier fluide de travail peut être utilisé. En outre, un ou plusieurs cycles de réchauffage peuvent au besoin être accomplis.

- Bien qu'il soit prévu, qu'avec une insolation suffisante du récepteur, la température du second fluide de travail dans le système décrit ci-dessus soit élevée à une température capable de chauffer l'eau jusqu'à atteindre un état supercritique, les
- 45 personnes du métier se rendront compte que le système de canalisations portant les fluides de travail chauffés n'est pas sous pression, uniquement des contraintes



thermiques existant, ce qui pourrait pousser à penser que la fabrication du système de canalisations sera plus économique par comparaison aux chaudières supercritiques connues.

L'efficacité d'un système de stockage et de transfert thermique, comme celui-ci, qui emploie la chaleur sensible, est proportionnelle à la différence de température entre les branches froide et chaude de chaque trajectoire de fluide (Energie stockée = masse x capacité thermique x différence de température). Dans l'exemple donné dans le présent mémoire descriptif, le premier fluide de travail fonctionnera dans une plage de température de 290°C à 550°C approximativement (par conséquent, le changement de température, $DT = 260^\circ\text{C}$) tandis que le second fluide de travail fonctionnera uniquement dans une plage de température de 550°C à 700°C approximativement (par conséquent $DT=150^\circ\text{C}$). D'où, pour le second fluide de travail, la même quantité de stockage d'énergie nécessitera un volume 1.7 fois supérieur (en supposant que le second fluide de travail a une masse et une capacité thermique identiques au premier fluide de travail). Toutefois, comme illustré dans la figure 2, en tenant compte des besoins d'enthalpie pour chauffer l'eau pressurisée de 290°C à 700°C dans les échangeurs de chaleur 6 et 18 uniquement de la Figure 1, on peut constater que la quantité d'énergie requise n'est pas distribuée de façon uniforme sur la plage de température. La majeure partie de l'énergie requise pour élever la température de l'eau sera comprise dans la plage de 290°C à 550°C, qui est fournie par le premier et plus efficace fluide de travail. Le second fluide de travail est par conséquent utilisé pour élever la pression de l'eau/vapeur à l'état supercritique.

Dans des modes de réalisation alternatifs, il est envisagé qu'uniquement deux, ou plus que trois, fluides de travail puissent être utilisés. Au besoin des réservoirs compartimentés additionnels, tels ceux décrits ci-dessus, et des échangeurs de chaleur respectifs, seraient ajoutés ou retirés du mode de réalisation susmentionné pour correspondre aux nombres ajoutés ou réduits de fluides de travail.

Des fluides de travail alternatifs peuvent également être utilisés, comme d'autres formes de sels fondus, de métaux liquides ou de gaz comme, entre autres, le dioxyde de carbone ou l'hélium.

Il est prévu aussi que plus d'un récepteur solaire peut être incorporé au système, les fluides de travail étant passés aux récepteurs en parallèle ou en série.

35

40

45

REVENDEICATIONS

1. Un système d'énergie solaire, comprenant un récepteur solaire (1) pour absorber le rayonnement solaire et une multitude de trajectoires d'écoulement de fluide indépendantes (L1, L2, L3) passant à travers le récepteur solaire
5 parallèlement l'une à l'autre, où chaque trajectoire d'écoulement de fluide contient un fluide de travail pouvant s'écouler à une température de fonctionnement minimale au moins à travers la trajectoire d'écoulement de fluide pour absorber l'énergie thermique du récepteur solaire (1) à une température de fonctionnement maximale, les températures de fonctionnement minimales et maximales étant
10 différentes pour chaque fluide de travail, la configuration étant telle que l'énergie thermique absorbée dans le récepteur solaire (1) par un fluide de travail ayant des températures de fonctionnement minimales et maximales relativement inférieures est transférée à un fluide de travail ayant des températures de fonctionnement minimales et maximales relativement supérieures dans une trajectoire
15 d'écoulement de fluide (L2, L3) adjacente, de telle sorte que le transfert de l'énergie thermique survienne avant que le fluide de travail aux températures de fonctionnement minimales et maximales relativement supérieures n'absorbe l'énergie thermique du récepteur solaire (1).

2. Le système d'énergie solaire de la revendication 1, où les première et
20 seconde trajectoires d'écoulement de fluide (L1, L2) passent à travers le récepteur solaire (1), un premier fluide de travail pouvant s'acheminer à travers la première trajectoire d'écoulement de fluide (L1) pour absorber l'énergie thermique du récepteur solaire à une première température maximale ; et un second fluide de travail pouvant s'acheminer à travers la seconde trajectoire d'écoulement de fluide
25 (L2) pour absorber l'énergie thermique du récepteur solaire à une seconde température maximale supérieure à la première température maximale.

3. Le système d'énergie solaire de la revendication 2, comprenant aussi au moins une troisième trajectoire d'écoulement de fluide (L3) passant à travers le récepteur solaire (1) et un troisième fluide de travail pouvant passer à travers la
30 troisième trajectoire d'écoulement de fluide (L3) pour absorber l'énergie thermique du récepteur à une troisième température maximale supérieure aux première et seconde températures maximales.

4. Le système d'énergie solaire de l'une des revendications précédentes, où chaque trajectoire de fluide (L1, L2, L3) comprend un réservoir de stockage (9, 4, 16,) avant le récepteur solaire (1) et un réservoir de stockage (4, 16, 21) après le récepteur solaire, où chaque fluide de travail est stocké dans un réservoir avant et après le chauffage dans le récepteur solaire.

5. Le système d'énergie solaire de la revendication 4, où différents fluides de travail occupent les premier et second compartiments (20a, 20b) d'au moins un
40 des réservoirs de stockage (4), le premier compartiment (20a) étant situé dans une trajectoire d'écoulement de fluide (L1) pour stocker le fluide de travail aux températures de fonctionnement minimales et maximales relativement inférieures après avoir été chauffé dans le récepteur solaire (1) et le second compartiment (20b) étant situé dans une trajectoire d'écoulement de fluide (L2) pour stocker le
45 fluide de travail aux températures de fonctionnement minimales et maximales relativement supérieures avant d'être chauffé dans le récepteur solaire, les



premier et second compartiments (20a, 20b) du réservoir de stockage (4) étant configurés de telle sorte que, durant le fonctionnement du système, le fluide de travail à la température de fonctionnement minimale supérieure soit maintenu dans un état d'aptitude à l'écoulement par l'énergie thermique en provenance du
5 fluide de travail à la température de fonctionnement minimale inférieure.

6. Le système d'énergie solaire de l'une des revendications précédentes, où chaque trajectoire d'écoulement de fluide (L1, L2, L3) comprend un échangeur de chaleur (6, 18, 23) à travers lequel, en cours de fonctionnement, le fluide de travail chauffé dans cette trajectoire d'écoulement passe afin d'alimenter un fluide
10 de turbine en énergie thermique, les échangeurs de chaleur étant placés en série par rapport à l'écoulement (8) du fluide de turbine de telle sorte qu'un échangeur de chaleur ultérieur de la série alimente le fluide de turbine d'une quantité additionnelle d'énergie thermique après son passage à travers un échangeur de chaleur précédent.

15 7. Le système d'énergie solaire de l'une des revendications précédentes, comprenant des pompes (P) pouvant être actionnées pour pomper les fluides de travail autour des trajectoires d'écoulement de fluide (L1, L2, L3) à des débits différents, pour contrôler ainsi la température maximale atteinte par chaque fluide de travail moyennant l'absorption de l'énergie thermique du récepteur solaire.

20 8. Un procédé d'exploitation d'un système d'énergie solaire où l'énergie thermique est transférée à partir d'un récepteur solaire à une multitude de différents fluides de travail, les fluides de travail pouvant s'écouler à travers une multitude correspondante de trajectoires d'écoulement de fluide et ayant différentes températures de fonctionnement minimales et maximales, le procédé
25 comprenant les étapes qui consistent à :

a) acheminer les fluides de travail à leurs températures de fonctionnement minimales au moins à travers leurs trajectoires d'écoulement de fluide respectives pour absorber l'énergie thermique du récepteur solaire à leurs températures de fonctionnement maximales ; et

30 b) transférer l'énergie thermique absorbée dans le récepteur solaire par un fluide de travail ayant des températures de fonctionnement minimales et maximales relativement inférieures à un fluide de travail ayant des températures de fonctionnement minimales et maximales relativement supérieures dans une trajectoire d'écoulement de fluide adjacente, un tel transfert de l'énergie thermique
35 survenant avant que le fluide de travail aux températures de fonctionnement minimales et maximales relativement supérieures n'absorbe l'énergie thermique du récepteur solaire.

9. Le procédé de la revendication 8, consistant à acheminer un premier fluide de travail à travers une première trajectoire d'écoulement de fluide pour
40 absorber l'énergie thermique du récepteur solaire à une première température maximale ; et acheminer un second fluide de travail à travers la seconde trajectoire d'écoulement de fluide pour absorber l'énergie thermique du récepteur solaire à une seconde température maximale supérieure à la première température maximale.

45 10. Le procédé de la revendication 9, consistant aussi à acheminer au moins un troisième fluide de travail à travers une trajectoire d'écoulement de fluide



correspondante pour absorber l'énergie thermique du récepteur à une troisième température maximale supérieure aux première et seconde températures maximales.

11. Le procédé de l'une des revendications 8 à 10, consistant aussi à
5 stocker chaque fluide de travail dans un réservoir de stockage avant et après son chauffage dans le récepteur solaire.

12. Le procédé de la revendication 11, consistant aussi à :

a) stocker un fluide de travail ayant une température de fonctionnement
minimale inférieure dans un réservoir de stockage avant son chauffage dans le
10 récepteur solaire ;

b) stocker un fluide de travail ayant une température de fonctionnement
minimale supérieure dans un réservoir de stockage après son chauffage dans le
récepteur solaire ; et

c) transférer l'énergie thermique du fluide de travail à la température de
15 fonctionnement minimale inférieure au fluide de travail à la température de
fonctionnement minimale supérieure durant le stockage, maintenant ainsi le fluide
de travail à la température de fonctionnement minimale supérieure dans un état
d'aptitude à l'écoulement.

13. Le procédé de l'une des revendications 8 à 12, consistant aussi à
20 transférer l'énergie thermique d'un fluide de travail chauffé dans chaque trajectoire
d'écoulement de fluide vers un fluide de turbine, où le transfert de l'énergie
thermique au fluide de turbine à partir d'un fluide de travail ayant des températures
de fonctionnement minimales et maximales relativement supérieures survient
après le transfert de l'énergie thermique au fluide de turbine à partir d'un fluide de
25 travail ayant des températures de fonctionnement minimales et maximales
relativement inférieures.

14. Le procédé de l'une des revendications 8 à 13, consistant aussi à
pomper les fluides de travail autour des trajectoires de fluide à des débits
différents, afin de contrôler ainsi la température maximale atteinte par chaque
30 fluide de travail moyennant l'absorption de l'énergie thermique du récepteur
solaire.

35

40

45



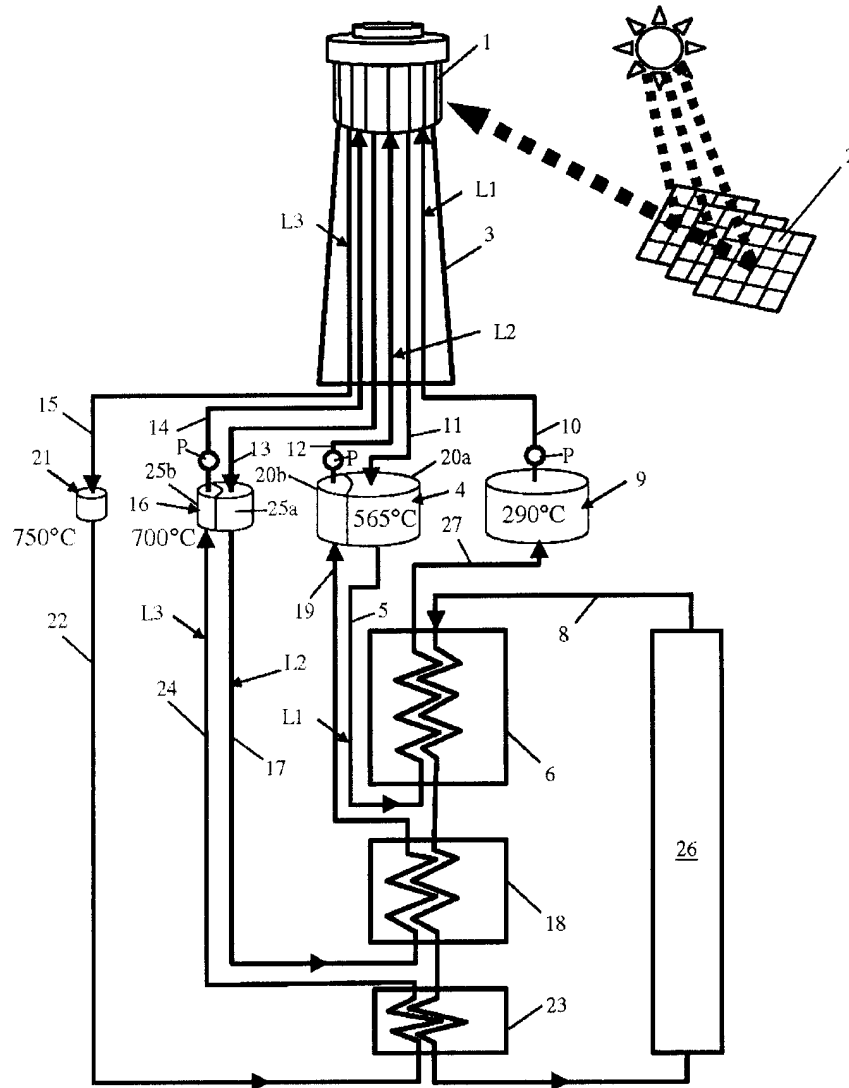


FIGURE 1



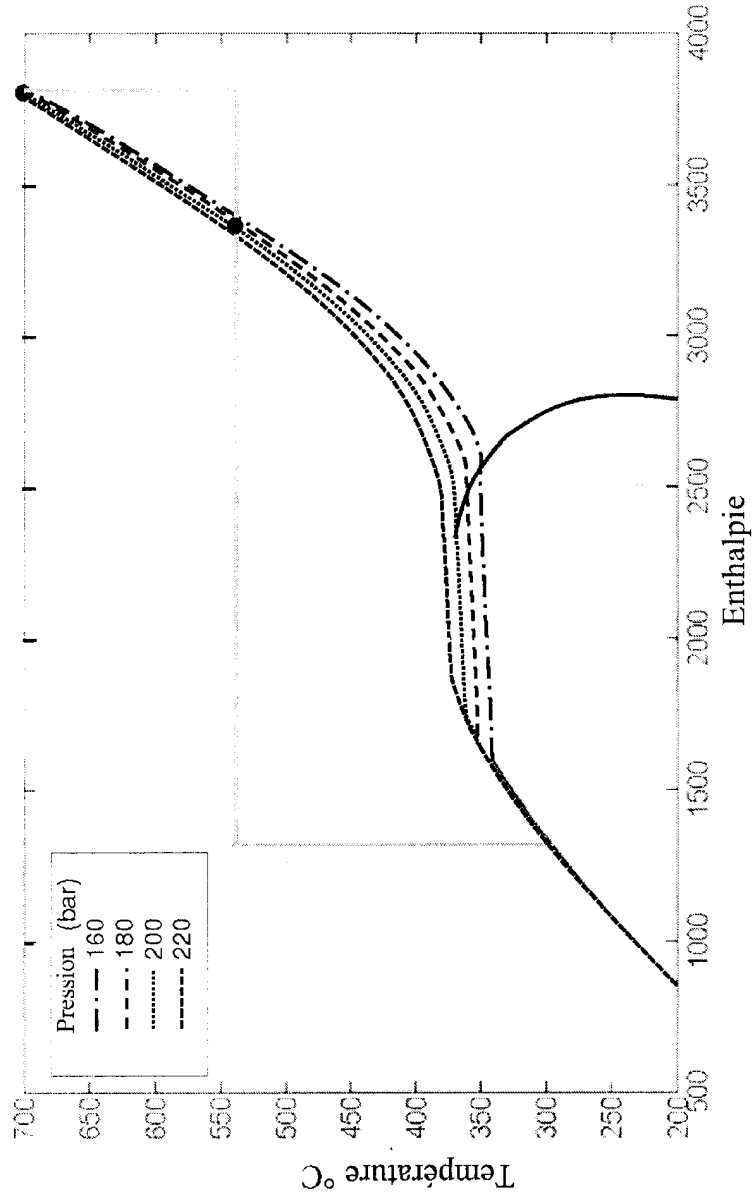


FIGURE 2